

DETERMINING THE DAMPING FACTOR OF THE RULER IN WATER USING LOGGER PRO

Berkatdo Pasca Bali Silaban¹, Albertus Hariwangsa Panuluh², Bajongga Silaban³

¹Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sanata Dharma, berkatdosilaban@gmail.com

²Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sanata Dharma, panuluh@usd.ac.id

³Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas HKBP Nommensen, bajongga.silaban@yahoo.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai koefisien redaman dalam air untuk penggaris dengan menggunakan tiga jenis bahan dan dua arah osilasi yang berbeda. Masalah penelitian adalah bagaimana koefisien redaman beberapa jenis zat padat apabila berosilasi di dalam air. Jenis zat padat yang diosilasikan yaitu penggaris yang bahannya terbuat dari aluminium, besi, dan stainless steel dengan panjang dan lebarnya bervariasi. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen dengan sampel air pada suhu 20°C dengan nilai viskositas sebesar 1,00 mPa.s terdapat pada kran laboratorium fisika Universitas Sanata Dharma Yogyakarta. Alat pengumpul data yang digunakan adalah Video Logger Pro, yang dianggap telah akurat dalam mencacah redaman untuk setiap kali melakukan pengamatan pada masing-masing jenis zat padat. Berdasarkan hasil penelitian dengan mengayunkan penggaris pada mode osilasi yang berbeda pada sudut deklinasi $< 10^0$ dengan variasi panjang dipotong 9,5 cm, kemudian masing-masing dipotong kembali dua kali dengan panjang 2 cm berikutnya, menciptakan tiga variasi panjang. Potong variasi lebar dari lebar awal 2,6 cm, kemudian potong lebar berikutnya 0,3 cm dua kali sehingga ada tiga variasi lebar. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan bahwa semakin kecil momen inersia maka semakin kecil nilai koefisien redamannya.

Kata kunci: faktor redaman, air pada suhu 20°C, bandul fisis, Video Logger Pro, momen inersia

Abstract

This study aims to determine the value of the damping coefficient in water for a ruler using three types of materials and two different oscillation directions. The research problem is how the damping coefficient of several types of solids oscillates in water. The type of oscillating solid is a ruler whose materials are made of aluminum, iron, and stainless steel with varying lengths and widths. The research method used is an experiment with a water sample at a temperature of 20°C with a viscosity value of 1,00 mPa.s found in the faucet of the physics laboratory of the University of Sanata Dharma Yogyakarta. The data collection tool used is Video Logger Pro, which is considered to be accurate in measuring attenuation for each time it makes observations on each type of solid. Based on the results of the study by swinging the ruler in different oscillation modes at a declination angle of $< 10^0$, with variations in length being cut 9,5 cm, then each of them was cut back twice with the next 2 cm in length, creating three variations in length. Cut the width variation from the initial 2,6cm wide, then cut the next 0,3cm width twice so there are three width variations. Based on the results of the study, it was found that the smaller the moment of inertia, the smaller the value of the damping coefficient.

Keywords: damping factor, water at 20°C, physical pendulum, video Logger Pro, moment of inertia.

Pendahuluan

Menurut Undang-undang No. 20 tahun 2003 Bab Pasal 3 (dalam Sanjaya, 2017) menyebutkan bahwa “Pendidikan nasional berfungsi mengembangkan kemampuan dan membentuk watak serta peradaban bangsa yang bermartabat dalam rangka mencerdaskan kehidupan bangsa, bertujuan untuk berkembangnya potensi peserta didik agar menjadi manusia yang beriman dan bertakwa kepada Tuhan Yang Maha Esa,

berakhlak mulia, sehat, berilmu, cakap, kreatif, mandiri, dan menjadi warga negara yang demokratis serta bertanggung jawab”. Untuk mewujudkan tujuan tersebut tentu diperlukan daya dan upaya pembenahan sarana dan prasarana di laboratorium fisika khususnya di sekolah menengah. Berbagai alat yang dapat digunakan untuk membuktikan peristiwa osilasi di dalam pelajaran fisika, seperti ayunan bandul sederhana dengan menggunakan seutas tali pada salah satu

ujungnyanya dan diberi beban berupa bandul, namun seiring dengan perkembangan teknologi muncul alat-alat yang lebih canggih untuk mengamati gerakan osilasi, bahkan redaman yang dialami oleh suatu benda ketika dimasukkan ke dalam suatu wadah yang berisi air dapat diamati dengan menggunakan Logger Pro. Hasil penelitian yang dilaksanakan (Subhan, 2019) bahwa “memanfaatkan media pembelajaran Logger Pro pada materi Osilasi Sederhana, dapat mengubah gambaran mata pelajaran fisika yang dianggap kurang menarik menjadi lebih menarik, dan juga mampu meningkatkan pemahaman konsep fisika di SMA”. Permasalahan dalam penelitian ini adalah 1) Bagaimana koefisien redaman beberapa jenis zat padat apabila berosilasi di dalam air, dan 2) Apakah Logger Pro sudah sesuai digunakan untuk peserta didik di sekolah menengah? Sedangkan tujuan penelitian adalah ingin mengetahui besarnya nilai koefisien redaman beberapa jenis zat padat apabila berosilasi di dalam air. Dengan terjawabnya permasalahan ini tentu akan dapat bermanfaat untuk membantu para guru dan peserta didik dalam proses pembelajaran yang dapat diterapkan pada kehidupan sehari-hari.

Gerak bandul adalah osilasi sederhana yang terjadi hanya jika amplitudonya kecil. Sebuah bandul sederhana terdiri dari seutas tali dengan panjang L dan berat bermassa m (Tipler, 1998). Gaya yang bekerja pada beban adalah beratnya mg dan tegangan tali T . Ketika tali berada pada sudut vertikal, berat memiliki komponen $mg \cos \theta$ sepanjang tali, $mg \sin \theta$ tegak lurus tali dalam arah menurun, dan s adalah panjang busur yang diukur dari bawah. Sebuah lingkaran dibuat yang melewati gerakan berosilasi. Ini adalah redaman yang disebabkan oleh gaya kental, ke atas, dan gesekan yang dapat mempengaruhi bandul. Jika tidak ada redaman, bandul akan terus bergerak atau tidak akan berhenti. Penelitian ini mengkaji tentang pelemahan yang terjadi ketika ditempatkan pada zat cair berupa air (H_2O).

Bandul fisis melibatkan variabel panjang tali bandul (l), massa bandul (m), sudut ayunan (θ) dan kuadrat periode ayunan (T^2) (Sutarno, 2017). Semua benda tegar yang digantungkan sehingga sumbu yang melalui benda tersebut, dinamakan bandul fisis. Bandul fisis merupakan perluasan dari bandul sederhana, yang hanya

terdiri dari tali tak bermassa yang digantungi sebuah partikel tunggal (Khanafiyah, 2009). Selanjutnya (Budi, 2015) mengatakan bahwa “faktor penyebab ketidaksesuaian antara hasil percobaan gerak osilasi sederhana dengan simulasi osilasi fisik bandul dan osilasi pegas-massa yaitu gesekan bandul menunjukkan bahwa pengaruhnya gesekan besar di udara sekitar, terutama pada sudut di atas 10° ”. Salah satu objek yang digunakan penelitian pelaksanaan Ketika kita mengucapkan kata fluida, kita langsung memikirkan cairan. Menurut (Ishaq, 2007), suatu cairan atau *liquid* yang terdiri dari air, minyak, dll memiliki kekentalan (*viscosity*). Fluida dapat beradaptasi dengan wadah yang ditempatinya. Fluida yang diam memiliki gaya dari berat cairan yang disebabkan oleh tekanan fluida yang bekerja tegak lurus terhadap permukaan yang bersentuhan. Penelitian yang menjadi acuan bagi penulis tentang fluida yaitu tentang “Penggunaan Aplikasi Logger Pro untuk Menentukan Nilai Viskositas Air” (Rada, 2021). Beberapa studi tentang viskositas juga bermanfaat sebagai referensi. Artinya, (Oktova, 2013) menggunakan bandul untuk menentukan koefisien viskositas udara, dan (Leme, 2017) menggunakan bandul untuk menentukan koefisien viskositas etanol. Penentuan viskositas fluida oleh (Shamim, 2010). Karena gerak getar bandul fisis yang bergerak di dalam air, pendulum fisis berayun lebih cepat daripada di udara dari simpangan awal dan berhenti di titik setimbang. Osilasi teredam dapat dibagi menjadi tiga jenis: osilasi *overdamped*, osilasi teredam kritis, dan osilasi *underdamped* (Fowles, 2005). Sistem mekanis dapat bergerak secara teratur karena efek gaya pemulih pada sistem (Serway, 2014). Gaya pemulih yang bekerja sebanding dengan posisi massa sistem relatif terhadap titik kesetimbangan dan selalu diarahkan ke titik kesetimbangan. Gerakan ini disebut gerakan osilasi osilasi sederhana (Budi, 2015). Pada penelitian sebelumnya tentang Penentuan Faktor Redaman dan Faktor Periode Pada Osilasi Balok Kayu Menggunakan Analisis Video Logger Pro” (Manggala, 2020) yang dilakukan di udara, posisi sumbu rotasi di salah satu ujung kayu dan gerak osilasi adalah satu Karena searah, saya ingin mencari tahu apa yang terjadi pada harmonik di mana posisi sumbu rotasi berbeda, atau apa yang dilakukan untuk menghasilkan osilasi dua arah yang mungkin mempengaruhi atau tidak

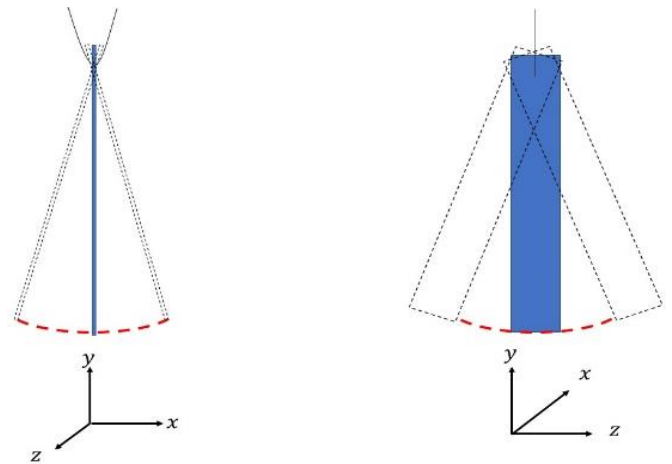
mempengaruhi nilai koefisien redaman. Bahan yang digunakan adalah penggaris aluminium, besi dan stainless steel.

Berdasarkan uraian-uraian tersebut ingin melaksanakan dan melanjutkan penelitian pada jenis fluida yang berbeda yaitu dengan menggunakan air sebagai peredam dengan judul “Menentukan Faktor Redaman Penggaris dalam Air Menggunakan Logger Pro”.

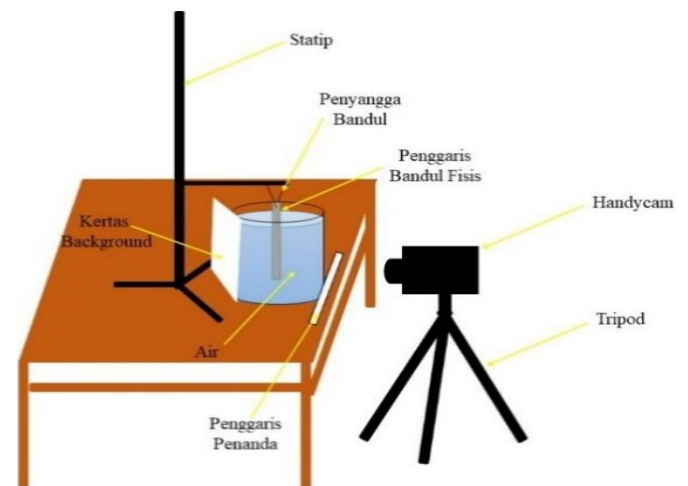
Metode

Desain penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen, dengan menggunakan aplikasi *Logger Pro* sebagai pencacah gerakan osilasi. Bahan yang akan diosilasikan ke dalam air adalah penggaris, yang terbuat dari bahan aluminium, besi, dan Stainless. Sedangkan sampel penelitian adalah air dengan viskositas (η) sebesar 1,0 mPa.s pada suhu 20°C yang mengalir di laboratorium fisika USD. Rakitan peralatan seperti terlihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.

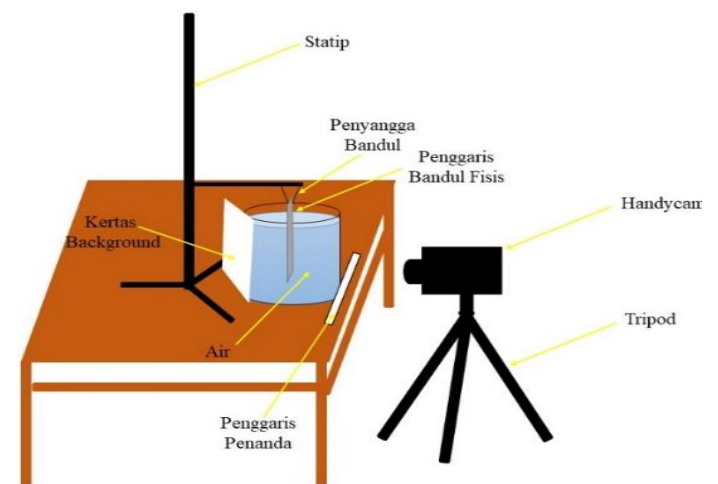
Hasil rekaman harmonik bandul dianalisis menggunakan aplikasi *Logger Pro*. Saat redamannya kuat, gerakannya tidak menyerupai osilasi sederhana (Giancoli, 2014). Pengambilan data ini dilakukan dengan cara merekam osilasi fisik bandul/penggaris yang ditempatkan pada gelas ukur yang berisi air. Perubahan panjang dan lebar akibat osilasi sumbu-x dan sumbu-z dilakukan sebanyak tiga kali dengan tiga kali perubahan panjang dan massa. Osilasi pada arah sumbu-x adalah gerak osilasi pada salah satu ujung tepi penggaris yang sumbu putarnya bergerak searah sumbu-x dan osilasi pada arah sumbu-z yaitu gerak osilasi dan sumbu rotasi adalah penggaris yang bergerak di salah satu ujung pusatnya ke arah sumbu-z dapat dilihat seperti pada Gambar 1 dan perakitan alat seperti Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 1. Osilasi Menuju Sumbu-X (Kiri), Osilasi Menuju Sumbu-Z (Kanan).



Gambar 2. Perakitan Alat dan Bahan Pada Osilasi Menuju Sumbu-X.



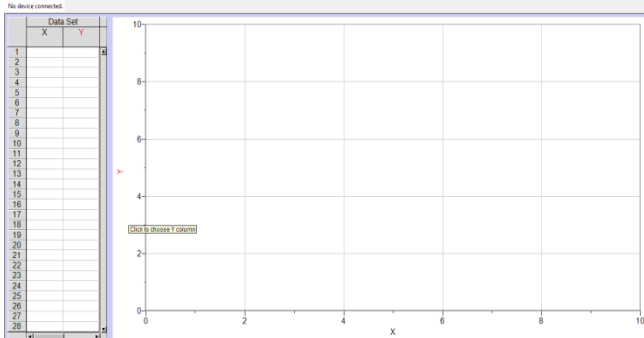
Gambar 3. Perakitan Alat dan Bahan Pada Osilasi Menuju Sumbu-Z.

Deskripsi Logger Pro

Logger Pro merupakan suatu program (*software*) yang difungsikan untuk menganalisis suatu fenomena fisik baik berupa proses mekanik,

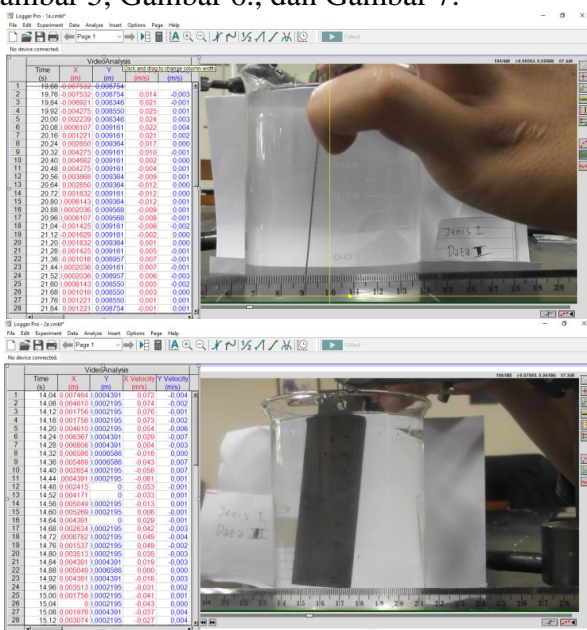
energi, radiasi, dan fenomena lainnya. Perangkat ini berfungsi sebagai alat (*tools*) untuk memvisualisasikan fenomena fisis berdasarkan kumpulan informasi yang berbentuk data, grafik, gambar, video, yang kemudian dianalisis sehingga dapat diketahui hubungan variabel, pola, kecenderungan, dan lain sebagainya.

Pengamatan dengan menggunakan *Logger Pro* didasarkan pada ketepatan sebagai bagian secara mendasar untuk menghasilkan suatu ilmu pengetahuan. Penggunaan *Logger Pro* dalam menentukan besarnya nilai koefisien redaman cukup akurat dan dapat digunakan sebagai media pembelajaran dalam fisika, dan Icon visualisasinya seperti tertera pada Gambar 4

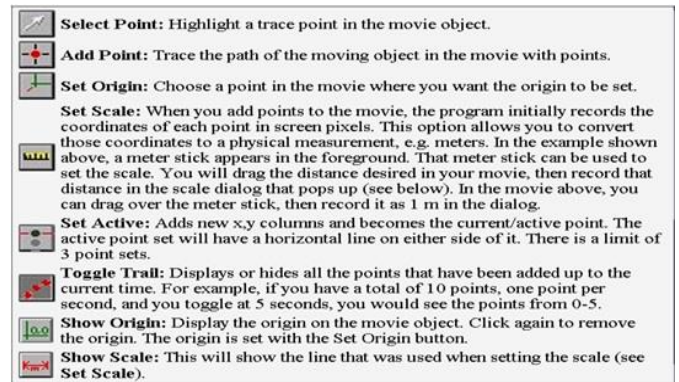


Gambar 4. Icon dan visualisasi window utama Logger Pro.

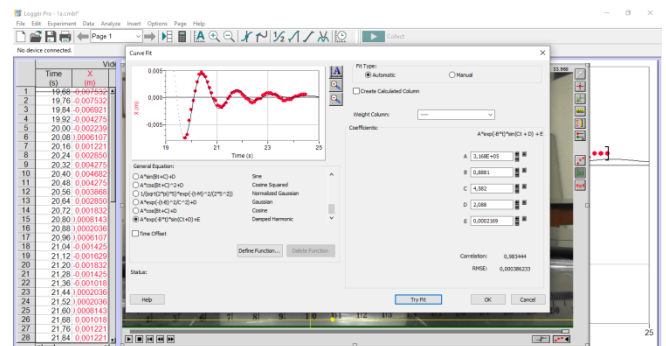
Visualisasi jendela (*window*) *Logger Pro* 3.8.6 ketika menganalisis suatu fenomena berbasis video, *tracking*, dan analisis data ditunjukkan oleh Gambar 5, Gambar 6., dan Gambar 7.



Gambar 5. Window Logger Pro pada analisis VBL.



Gambar 6. Fungsi Tool Bar Logger Pro dengan Analisis Video.



Gambar 7. Fungsi fitting kurva yang digunakan dalam Logger Pro.

Logger Pro juga dapat diaplikasikan pada sistem MBL (*Microcomputer Based Laboratory*), *Simulation Based Laboratory* (SBL), dan *Video Based Laboratory* (VBL). *Tracking* video yang 14 biasanya dapat berguna untuk menghitung kecepatan benda yang bergerak, juga *tracking* gambar/foto untuk memperoleh data numerik penyusun suatu dimensi gambar tersebut (misalnya memperoleh data penyusun suatu gambar grafik atau pola).

Nilai koefisien redaman dapat dicari dari nilai B persamaan harmonik redaman yang dianalisis dengan *Video Logger Pro* untuk *damped harmonic* menggunakan Persamaan 1.

$$A * \exp(-B * t) * \sin(Ct + D) + E \quad (1)$$

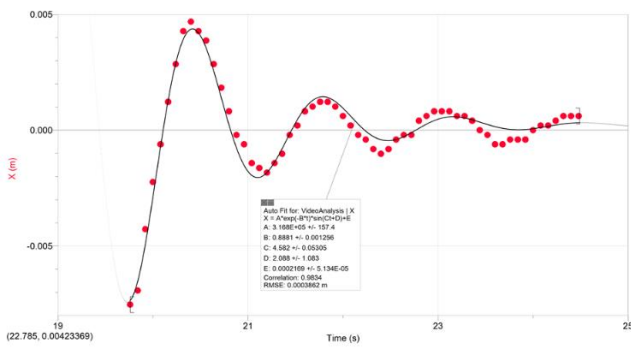
Karena didasarkan pada persamaan harmoni redaman menggunakan persamaan *Euler Identity* dari *damped harmonic*.

$$X(t) = e^{-\gamma t} (A \sin(\omega_a t + \phi_0)) \quad (2)$$

Oleh karena itu, nilai $\gamma = B$.

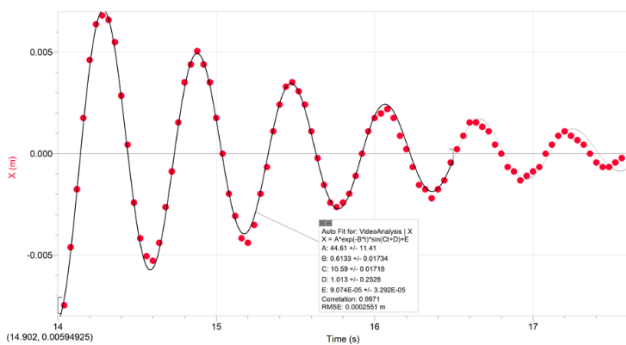
Hasil dan Pembahasan

Perwakilan hasil yang diperoleh melalui eksperimen *fitting* data pertama besi dengan panjang dan lebar yang bervariasi menggunakan dua arah osilasi ditunjukkan pada Gambar 8, Gambar 9, Gambar 10, dan Gambar 11.



Gambar 8. Plot Hasil Fit Data Besi Pertama Terhadap Perubahan Panjang Osilasi Sepanjang Sumbu-X.

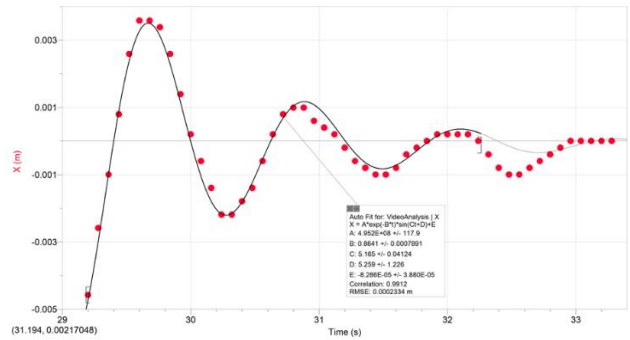
Pada gambar 8 menjelaskan bahwa data yang dipilih adalah mulai dari detik ke 20 sampai detik ke 24, karena data pada interval waktu ini cukup akurat sehingga dapat digunakan untuk mewakili data penelitian, walaupun pada detik ke 20-an mulai tidak fit dengan hasil yang sebenarnya (garis hitam) demikian halnya pada detik yang ke 22 dan 24, bahkan detik ke 24 dan selanjutnya terdapat tiga data yang sama saat diplot.



Gambar 9. Plot Hasil Fit Data Besi Pertama Terhadap Perubahan Panjang Osilasi Sepanjang Sumbu-Z.

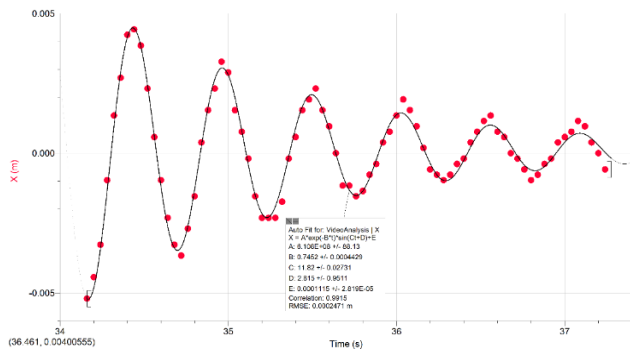
Data pada Gambar 9 tidak semuanya dipilih hanya dari detik ke 14 sampai detik ke 16 saja, karena apabila semua diplot nilainya akan tidak sesuai dengan sebenarnya, dan di sini tidak ada plot data yang bersamaan seperti gambar 8. Pada Gambar 9 dapat memperlihatkan hasil fit yang baik, jika

dibandingkan dengan pada detik ke 15 dan 17 karena agak jauh dari garis hitam.



Gambar 10. Plot Hasil Fit Data Besi Kedua Terhadap Perubahan Panjang Osilasi Sepanjang Sumbu-X.

Pada gambar 10, data yang digunakan hanya mulai detik ke 29 sampai detik ke 32 dikarenakan mirip dengan Gambar 9 karena jika seluruhnya dipilih akan menyebabkan hasil yang tidak sesuai. Demikian juga dengan hasil plot datanya tidak ada yang sama. Pada detik ke 30 hingga 31 datanya fitnya menjauhi garis hitam fittingnya.



Gambar 11. Plot Hasil Fit Data Besi Kedua Terhadap Perubahan Panjang Osilasi Sepanjang Sumbu-Z.

Pada gambar 11, data yang dipilih mulai dari detik ke 34 sampai detik ke 37. Hasil fit mulai dari simpangan dua sampai enam tidak mengenai garis hitam fittingnya dan banyak data plot yang sama serta pendistribusian plot data tidak banyak fit yang cocok dan hal ini berbeda dengan Gambar 8 dan Gambar 9.

Berdasarkan uraian ke empat Gambar tersebut disimpulkan bahwa plot hasil penelitian hampir mendekati persamaan *Euler Identity* dari *damped harmonic*. Selain itu juga ditunjukkan adanya variabel dalam grafik. $\gamma = B$, sehingga nilai faktor redaman diberikan oleh variabel B. Tabel

1 dan Tabel 2 dapat diperoleh dengan cara yang sama.

Tabel 1. Hasil analisis koefisien redaman bandul fisis dalam air untuk aluminium, besi dan stainless steel dengan panjang yang berbeda

Bah	Lebar (cm)	Tebal (cm)	Panjang (cm)	Faktor Redaman (s ⁻¹)	
				Osilasi Ke Arah Sumbu-x	Osilasi Ke Arah Sumbu-z
Aluminium	2,54	0,087	9,54	0,63	0,81
			± 0,01	± 0,01	± 0,02
			7,517	0,56	0,88
			± 0,003	± 0,01	± 0,01
Besi	2,613	0,067	5,513	0,51	2,46
			± 0,003	± 0,01	± 0,01
			9,55	0,86	0,62
			± 0,01	± 0,01	± 0,02
Stainless	2,553	0,073	7,547	0,819	0,71
			± 0,003	± 0,002	± 0,01
			5,55	0,75	0,98
			± 0,01	± 0,01	± 0,01
Stainless	2,553	0,073	9,56	0,96	0,51
			± 0,01	± 0,02	± 0,01
			7,56	0,819	0,64
			± 0,01	± 0,002	± 0,02
Stainless	2,553	0,073	5,56	0,75	0,74
			± 0,01	± 0,01	± 0,01

Tabel 2. Hasil analisis koefisien redaman bandul fisis dalam air untuk aluminium, besi dan stainless steel dengan lebar yang berbeda

Bahan	Panjang (cm)	Tebal (cm)	Lebar (cm)	Koefisien Redaman (s ⁻¹)	
				Osilasi Arah Sumbu-x	Osilasi Arah Sumbu-z
Aluminium	7,517	0,087	2,54	0,56	0,88
			± 0,01	± 0,01	± 0,01
			2,337	0,58	0,98
			± 0,003	± 0,01	± 0,01
Besi	7,657	0,067	2,013	0,614	1,08
			± 0,003	± 0,001	± 0,04
			2,613	0,84	0,71
			± 0,003	± 0,01	± 0,01
Stainless	7,56	0,073	2,353	0,85	0,739
			± 0,003	± 0,01	± 0,004
			2,03	0,97	1,25
			± 0,01	± 0,01	± 0,04
Stainless	7,56	0,073	2,553	0,829	0,64
			± 0,003	± 0,004	± 0,02
			2,38	0,85	0,82
			± 0,01	± 0,02	± 0,02
Stainless	7,56	0,073	2,08	0,96	0,83
			± 0,01	± 0,02	± 0,02

Momen inersia dan *error* getar pada arah sumbu-x dengan panjang data awal 11,34 cm diperoleh berdasarkan Persamaan 3 dan 4.

$$I_1 = \frac{1}{3} Mb^2 \tag{3}$$

$$\Delta I_1 = \sqrt{\left(\frac{1}{3} b \Delta m\right)^2 + \left(\frac{2}{3} m b \Delta L\right)^2} \tag{4}$$

Nilai momen inersia osilasi pada arah sumbu-z. Berdasarkan persamaan 5 dan Gambar 6:

$$I_2 = \frac{1}{12} M(a^2 + 4b^2) \tag{5}$$

$$\Delta I_2 = \sqrt{\left(\left(\frac{\partial I_2}{\partial m}\right) \Delta m\right)^2 + \left(\left(\frac{\partial I_2}{\partial a}\right) \Delta a + \left(\frac{\partial I_2}{\partial b}\right) \Delta b\right)^2} \quad (6)$$

Dengan menggunakan metode yang sama, nilai momen inersia untuk perubahan panjang dan lebar ditunjukkan pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Hasil momen inersia pada osilasi sumbu x (I_1) dan osilasi sumbu z (I_2) untuk panjang yang berbeda

Bahan	Lebar (cm)	Tebal (cm)	I_1 (g cm ²)	I_2 (g cm ²)
Aluminium	2,54	0,087	339,9 ± 1,4	344,2 ± 1,5
			187,2 ± 0,9	190,7 ± 0,9
			90,4 ± 0,5	93,1 ± 0,6
Besi	2,613	0,067	623,9 ± 1,7	632,2 ± 1,7
			345,7 ± 0,9	352,4 ± 0,9
			168,01 ± 0,71	173,3 ± 0,7
Stainless	2,553	0,073	661,2 ± 1,7	669,5 ± 1,8
			367,9 ± 1,9	374,8 ± 1,9
			176,2 ± 0,7	181,5 ± 0,7

Tabel 4. Hasil momen inersia pada osilasi sumbu x (I_1) dan osilasi sumbu z (I_2) untuk lebar yang berbeda

Bahan	Panjang (cm)	Tebal (cm)	I_1 (g cm ²)	I_2 (g cm ²)
Aluminium	7,517	0,087	187,2 ± 0,9	190,7 ± 0,9
			171,6 ± 0,9	174,3 ± 0,9
			149,6 ± 0,9	151,3 ± 0,9
Besi	7,547	0,067	345,7 ± 0,9	352,4 ± 0,9
			306,7 ± 0,9	311,5 ± 0,9
			176,2 ± 0,7	181,5 ± 0,7

Aluminium	7,56	0,073	275,8 ± 0,9	279,04 ± 0,91
			367,9 ± 1,9	374,8 ± 1,9
			336,7 ± 1,1	343,2 ± 1,3
Stainless	7,56	0,073	292,2 ± 1,1	295,8 ± 0,7
			367,9 ± 1,9	374,8 ± 1,9
			336,7 ± 1,1	343,2 ± 1,3

Dari Tabel 3 dan Tabel 4, nilai momen inersia diurutkan dari yang memiliki variasi panjang dan lebar terbesar hingga yang memiliki variasi terkecil, sehingga semakin kecil nilai panjang dan lebar maka semakin kecil nilai momen dari inersia. Dapat dilihat bahwa momen inersia (I_1) osilasi pada sumbu-x selalu lebih kecil daripada momen inersia (I_2) osilasi pada sumbu-z. Hubungan antara koefisien redaman atau momen inersia yang ditunjukkan pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 5. Hubungan antara koefisien redaman dan momen inersia untuk osilasi arah-z pada panjang yang berbeda

Bahan	Lebar (cm)	Tebal (cm)	I_2 (g cm ²)	γ_z (s ⁻¹)
Aluminium	2,54	0,087	344,2 ± 1,5	0,81 ± 0,02
			190,7 ± 0,9	0,88 ± 0,01
			93,1 ± 0,6	2,46 ± 0,01
Besi	2,613	0,067	632,2 ± 1,7	0,62 ± 0,02
			352,4 ± 0,9	0,71 ± 0,01
			173,3 ± 0,7	0,98 ± 0,01
Stainless	2,553	0,073	669,5 ± 1,8	0,51 ± 0,01
			374,8 ± 1,9	0,64 ± 0,02
			181,5 ± 0,7	0,74 ± 0,01

Tabel 6. Hubungan antara koefisien redaman dan momen inersia untuk osilasi arah-x pada lebar yang berbeda

Bahan	Panjang (cm)	Tebal (cm)	Sumbu-X		Sumbu-Z	
			I_1 (gcm ²)	γ_1 (s ⁻¹)	I_2 (g cm ²)	γ_2 (s ⁻¹)
Aluminium	7,517	0,087	187,2	0,56	190,7	0,88
			± 0,9	± 0,01	± 0,9	± 0,01
			171,6	0,58	174,3	0,98
			± 0,9	± 0,01	± 0,9	± 0,01
Besi	7,547	0,067	149,6	0,614	151,3	1,08
			± 0,9	± 0,001	± 0,9	± 0,04
			345,7	0,84	352,4	0,71
			± 0,9	± 0,01	± 0,9	± 0,01
Stainless	7,56	0,073	306,7	0,85	311,5	0,739
			± 0,9	± 0,01	± 0,9	± 0,004
			275,8	0,97	279,04	1,25
			± 0,9	± 0,01	± 0,91	± 0,04
Stainless	7,56	0,073	367,9	0,829	374,8	0,64
			± 1,9	± 0,004	± 1,9	± 0,02
			336,7	0,85	343,2	0,82
			± 1,1	± 0,02	± 1,3	± 0,02
Stainless	7,56	0,073	292,2	0,96	295,8	0,83
			± 1,1	± 0,02	± 0,7	± 0,02

Dengan I_1 merupakan momen inersia osilasi ke arah sumbu-x, I_2 merupakan momen inersia osilasi ke arah sumbu-z osilasi, γ_1 merupakan faktor redaman osilasi ke arah sumbu-x dan γ_2 merupakan faktor redaman osilasi ke arah sumbu-z. Dari Tabel 5 dan Tabel 6 nilai momen inersia dan faktor redaman diurutkan mulai menurut nilai variasi panjang dan lebar yang terbesar hingga yang terkecil. Dapat dipandang Tabel 5 buat variasi panjang mempunyai nilai momen inersia ke arah sumbu-z turun dan faktor redaman osilasi ke arah sumbu-z naik. Pada Tabel 5 dan Tabel 6 buat variasi lebar mempunyai nilai momen inersia ke arah sumbu-x turun dan faktor redaman osilasi ke arah sumbu-x naik, dan buat variasi lebar mempunyai nilai momen inersia ke arah sumbu-z turun dan faktor redaman osilasi ke arah sumbu-z naik. Tabel 5 dan Tabel 6 mempunyai interaksi yang sama yaitu semakin turun nilai momen inersia maka akan semakin naik juga nilai faktor redamannya.

Untuk variasi panjang, diusahakan mendekati sudut kecil tidak lebih dari 10° sebanyak mungkin

sehingga pendekatan sudut ini konsisten dengan teori osilasi sudut kecil, maka dibuat sudut 4° tetapi sulit untuk dilakukan. Sehingga hanya mengarah ke sudut kecil sekitar 3,6° hingga 4,1°. Pada hasil yang diperoleh dari hasil yang diperoleh dan menganalisis variasi panjang dengan osilasi aluminium, besi, stainless steel searah sumbu x, semakin kecil panjangnya, semakin baik nilai faktor redamannya. dalam air, sedangkan variasi panjang osilasi aluminium, besi, stainless steel terhadap sumbu-z menunjukkan bahwa semakin kecil panjangnya, semakin besar nilai koefisien redaman dalam air. Bertentangan dengan hasil yang diperoleh dan dianalisis untuk perubahan panjang dan lebar untuk aluminium, besi dan stainless steel, fluktuasi terhadap sumbu x, osilasi terhadap sumbu z menunjukkan bahwa semakin kecil panjangnya, semakin rendah nilainya. nilai koefisien redaman idalami air. Besarnya nilai redaman juga dipengaruhi oleh viskositas (η) suatu fluida (zat cair), semakin besar viskositas suatu fluida nilai redamannya juga akan semakin besar. Pada Tabel 7 disajikan nilai viskositas beberapa fluida.

Tabel 7. Nilai Viskositas Beberapa Fluida

Nama Fluida	T (°C)	η (mPa.s)
Air	0	1,8
	20	1,00
	60	0,65
	37	4,0
Darah (keseluruhan)	30	200
Minyak mesin (SAE 10)	0	10.000
Gliserin	20	1,410
	60	81
	20	0,018
Udara	20	0,018

Sumber: Tipler (1998, 408)

Pada penelitian ini sampel yang digunakan adalah air pada suhu 20°C dengan viskositas (η) sebesar 1,8 mPa.s.

Eksperimen yang sebelumnya dilakukan (Vogt, 2012), mengukur percepatan relatif terhadap waktu menggunakan ponsel yang bertindak sebagai beban dan berosilasi seperti bandul sederhana, dan menemukan bahwa nilai percepatan pada beban (ponsel) berosilasi seperti bandul sederhana yang menunjukkan bahwa nilai percepatan menurun seiring waktu. Ini karena gaya viskositas dalam air menghambat ayunan pendulum fisik. Pendulum fisik kembali ke kesetimbangan lebih cepat daripada ayunan

pendulum fisik dalam air karena molekul lebih padat daripada viskositas longgar untuk molekul seperti udara. Ini memiliki viskositas. Rasio koefisien redaman terhadap momen inersia untuk osilasi sumbu-z dengan perubahan panjang sesuai Tabel 5, artinya semakin kecil momen inersia, semakin besar nilai faktor redamannya. Tabel 5 dan Tabel 6 menunjukkan hubungan antara faktor redaman dan jenis arah osilasi untuk perubahan panjang dan lebar osilasi sumbu-x dan sumbu-z. Dengan kata lain, semakin kecil momen inersia, semakin kecil. Jika panjang berubah, semakin kecil panjangnya, semakin kecil kemungkinan osilasi harmonik akan terjadi. Osilasi sumbu-z masih dapat bergerak dengan baik, tetapi osilasi sumbu-x, setelah mencapai osilasinya, sistem pendulum fisik tidak bekerja dengan baik, dan bahkan berhenti sebelum mencapai osilasinya. Hal ini disebabkan luas penampang osilasi sumbu-x ketika gerak harmonik lebih ditekan, berbeda dengan osilasi sumbu-z yang ditekan air ketika harmonik perjalanan kecil. Osilasi sumbu-z menghasilkan lebih banyak osilasi daripada osilasi sumbu-x karena gaya gesek yang berbeda. Simpangan yang diberikan kepada pendulum kemudian akan berayun dan berhenti perlahan-lahan seiring dengan waktu sampai osilasinya berhenti. Redaman pada umumnya disebabkan oleh hambatan udara dan gesekan internal di dalam sistem yang berosilasi. Bila redaman kuat maka gerakannya tidak menyerupai gerak harmonik sederhana (Giancoli, 2014). Pada sistem ini, bandul fisis ditinjau dari nilai torsi. Ketika terjadinya osilasi maka akan terdapat gaya gesek yang menghambat bandul fisis yang berlawanan dengan arah gerak osilasi (negatif), sehingga nilai torsi τ_R bernilai $\tau_R = -b\omega$, dengan b adalah nilai dari konstanta redaman. Hubungan antara momen inersia dengan faktor redaman pada letak sumbu rotasi di salah satu ujung tepi pelat tipis dapat dilihat pada persamaan 7 dan letak sumbu rotasi di salah satu ujung panjang dan lebar plat tipis dapat dilihat pada persamaan 8:

$$\frac{3k}{Mb^2} = \frac{k}{I} = 2\gamma \quad (7)$$

$$\frac{12k}{M(a^2 + 4b^2)} = \frac{k}{I} = 2\gamma \quad (8)$$

Besaran konstanta redaman k , massa M , lebar a , panjang b , momen inersia I , dan faktor

redaman γ dapat digunakan untuk mengetahui hubungan berbanding terbalik antara momen inersia dengan faktor redaman. Pada penelitian ini, persamaan 7 dan 8 digunakan sebagai acuan dalam pelaksanaan eksperimen.

Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa untuk perubahan panjang selama osilasi pada arah sumbu-z, nilai koefisien redaman dalam air besar, dan nilai panjang, momen inersia, dan massa adalah kecil. Mengenai fluktuasi lebar osilasi pada arah sumbu-x dan lebar osilasi pada arah sumbu-z, semakin kecil nilai lebar, momen inersia, dan massa maka semakin besar nilai koefisien redaman dalam air. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai analisis redaman adalah gaya gesek, gaya *viscous*, gaya ke atas, dan luas penampang. Penelitian ini menekankan pada metode analisis video memakai Logger Pro, dan diharapkan dapat dipergunakan di sekolah agar peserta didik lebih tertarik dalam mengikuti pembelajaran fisika, namun pihak sekolah harus lebih mempersiapkan perangkat ini di laboratorium. Disarankan juga agar penelitian lanjutan dapat dilakukan dengan menggunakan jenis fluida yang lain. Para peneliti berterima kasih kepada pengelola laboratorium fisika USD, dan laboran yang dengan senang hati memfasilitasi keperluan penelitian sehingga dapat terlaksana dengan baik.

Referensi

- Budi, Esmar. (2015). Kajian Fisis pada Gerak Osilasi Harmonis. *JPPPF*, 1(2), 59-66. <https://doi.org/10.21009/1.01210>.
- Fowles, and cassiday. (2005). *Analytical mechanics seventh edition*. United States of America: Thomson brooks/cole.
- Giancoli, Douglas C. (2014). *Fisika: Jilid 2 Edisi 7*. Jakarta: Erlangga.
- Ishaq, Mohammad. (2007). *Fisika Dasar Edisi 2*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Khanafiyah, S. (2010). Percobaan Osilasi Bandul Fisis Bentuk Sederhana Sebagai Tugas Proyek Penelitian Pada Materi Momen Inersia Di SMA. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 5 (2009), 47-53. <https://doi.org/10.15294/jpfi.v5i1.1000>.

- Leme, J. C., & Oliveira, A. (2017). Pendulum Underwater – An Approach for Quantifying Viscosity. *The Physics Teacher* 55 (9), 555–557. <https://doi.org/10.1119/1.5011833>.
- Limiansih, K., & Santosa, I. E. (2013). Redaman pada Pendulum Sederhana. *Jurnal Fisika Indonesia*, 17(51), 17-20. <https://doi.org/10.22146/jfi.24428>.
- Manggala, R. W., & Panuluh, A. H. (2021). Analisis Redaman pada Osilasi Balok Kayu. *Jurnal Fisika Indonesia*, 25(1), 7-10. <https://doi.org/10.22146/jfi.v1i1.57939>.
- Oktova R, Diana N. (2013). Penentuan koefisien viskositas air menggunakan metode osilasi pegas dengan koreksi kedalaman penetrasi dan koreksi efek dinding. *Berkala Fisika Indonesia*, 5(1), 25–34. <https://doi.org/10.12928/bfi-jifpa.v5i1.247>.
- Rada, M.K.D. & Panuluh, A.H. (2021). Penggunaan Aplikasi Logger Pro untuk Menentukan Nilai Viskositas Air. *Jurnal Ilmu Fisika dan Pembelajarannya*, 5(1), 28-35. <https://doi.org/10.19109/jifp.v5i1.8553>.
- Serway, R.A. dan Jewitt, Jr. J.W, (2014). *Physics for Scientist and Engineer with Modern Physics Ninth Edition*. Boston: Brooks/Cole.
- Shamim, Sohaib, dkk. (2010). Investigating viscous damping using webcam. *American Journal of Physics*, 78, 433-436. <https://doi.org/10.1119/1.3298370>.
- Subhan, Muhammad, Fatimah, & Almaidah, Nunung. (2019). Pemanfaatan Media Pembelajaran Logger Pro Terhadap Pemahaman Konsep Fisika Pokok Bahasan Osilasi Sederhana. *Jurnal Pembelajaran dan Pengajaran Fisika*, 2(2). <https://doi.org/10.33627/ge.v2i2.239>
- Sanjaya, Wina. (2017). *Strategi Pembelajaran Berorientasi Standar Proses Pendidikan*. Jakarta: Kencana
- Sutarno, dkk. (2017). Keterampilan pemecahan masalah mahasiswa dalam pembelajaran bandul fisis menggunakan model *problem solving virtual laboratory*. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Teknologi*, 3(2), 164-172. <https://doi.org/10.29303/jpft.v3i2.396>.
- Tipler, P. A. (1998). *Fisika untuk Sains dan Teknik Jilid ke-1*. Jakarta: Erlangga.
- Vogt P, Kuhn J. (2012). Analyzing simple pendulum phenomena with a smartphone acceleration sensor. *Physics Teacher*, 50(7), 439–40. <https://doi.org/10.1119/1.4752056>.